



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

POLOAUTOMATICKÉ SOUSTRUŽNICKÉ STROJE

SEMI AUTOMATIC LATHE MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB CHYTIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. PETR BLECHA, PH.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Chytil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Poloautomatické soustružnické stroje

v anglickém jazyce:

Semi Automatic Lathe Machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše a popis poloautomatických soustružnických strojů současné produkce.

Výpočtový návrh vybrané komponenty soustružnického stroje.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši, popis a roztřídění poloautomatických soustružnických strojů.

Provést výpočtový návrh zvolené komponenty soustružnického stroje.

Seznam odborné literatury:

Marek, J. a kol.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, 2. rozšířené vydání, ISBN 978-80-254-7980-3

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

www stránky výrobců soustružnických strojů

www.mmspektrum.com

www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24. 11. 2010

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato práce se zabývá rešerší, popisem a rozdělením poloautomatických soustružnických strojů. Úkolem je také provést výpočtový návrh vybrané komponenty. Začátek práce se soustředí na princip soustružení, základní výpočty, stručný popis soustružnických nožů, základní části poloautomatických soustružnických strojů a druhy soustružnických poloautomatů. Dále jsou popsány stroje současné produkce i s hlavními parametry a výrobci soustružnických strojů u nás i ve světě. Na závěr je uveden výpočet deformací vřetena a optimální vzdálenost mezi ložisky.

KLÍČOVÁ SLOVA

rešerše, soustruh, poloautomatický soustružnický stroj, soustružení, historie, současnost, výrobce, vřeteno

ABSTRACT

This thesis deals with the background research, description and division of semi-automatic lathe machines. One of the thesis's tasks is to realize the computational concept of a particular machine component. The beginning of the thesis focuses on the principle of lathe turning, the basic calculations, brief description of lathe blades, the main parts of semi-automatic lathe machines, and kinds of semi-automatic lathe machines. There are described machines of contemporary production with their main parameters and manufacturers in The Czech Republic and in foreign countries further on. The final part of the thesis is addressed to calculation of spindle deformation and optimal distance between the Bearings.

KEYWORDS

background research, lathe, semiautomatic lathe machines, turning, history, present, producer, spindle



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHYTIL, J. *Poloautomatické soustružnické stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 16. května 2011

.....

Jakub Chytil



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za jeho čas, který se mnou strávil při konzultacích.



OBSAH

Úvod.....	9
1 Historie soustružení	10
2 Princip soustružení	12
2.1 Základní výpočty.....	12
2.2 Soustružnické nože.....	13
3 Rozdělení soustruhů	15
4 Poloautomatické soustružnické stroje	16
4.1 Základní části	16
4.1.1 Lože.....	17
4.1.2 Vřeteník a vřeteno	18
4.1.3 Vedední	18
4.1.4 Suport	20
4.1.5 Koník.....	21
4.2 Hlavní pohon	21
4.3 Pohon suportů.....	21
5 Druhy poloautomatických soustruhů.....	22
5.1 Několikanožové poloautomaty pro práci v hrotech a ve sklíčidle	22
5.2 Kopírovací soustružnické poloautomaty	23
5.3 Revolverové soustružnické poloautomaty.....	24
6 Poloautomatické soustružnické stroje současné produkce	25
6.1 Soustružnické centrum SKY 40 CNC	25
6.2 Soustružnický poloautomat SPR 63 CNC-B.....	26
6.3 Soustružnický poloautomat SRU 40 CNC	27
6.4 Soustružnický poloautomat SP 430.....	28
7 Výrobci soustružnických strojů	29
7.1 Kovosvit MAS	29
7.2 TAJMAC-ZPS.....	29
7.3 TOS	29
7.4 MORI SEIKI	29
8 Výpočet deformací vřetena.....	30
8.1 Výpočet průhybu vlastního vřetena.....	30
8.2 Výpočet průhybu vlivem deformace ložisek.....	32
8.3 Celkový průhyb vřetena	32
Závěr	35
Použité informační zdroje	36
Seznam použitých zkratk a symbolů	38



ÚVOD

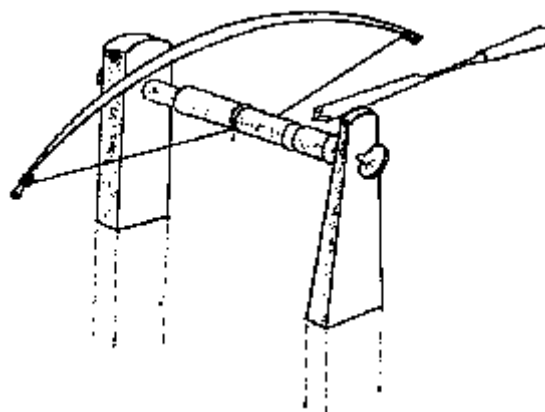
První zmínka o soustružených předmětech pochází již z mladší doby kamenné. Od této doby prošlo soustružení řadou vývojových změn (od lukového principu přes první železný soustruh až po dnešní CNC soustruhy). V dnešní době je soustružení jeden z nejpoužívanějších způsobů třískového obrábění. Na soustruzích se hlavně obrábí vnější a vnitřní rotační plochy, ale můžou se na nich i řezat závity, vrtat díry, vystružovat apod. V současnosti se ještě pořád používají universální soustruhy, na kterých lze provádět většinu již zmíněných operací. Ovšem s rostoucími požadavky na přesnost výroby a složitost tvaru součástí se již nejčastěji vyskytují numericky řízené soustruhy.

Poloautomatické soustružnické stroje mají automatický pracovní cyklus, kde obsluha stroje pouze vloží polotovár, spustí pracovní cyklus a na jeho konci vyjme hotový obrobek. Je zde patrný záměr o to, aby stroj pracoval a člověk pouze dohlížel.



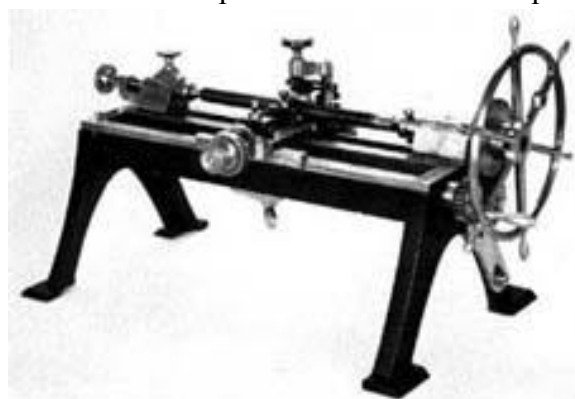
1 HISTORIE SOUSTRUŽENÍ

Soustružené předměty nacházíme mezi archeologickými nálezy již v mladší době kamenné v Egyptě. Dílo řeckého mechanika Filóna z Byzantia – *Méchaniké systaxis* z 3. stol. př. n. l. dosvědčuje, že staří Řekové znali soustruh, protože v něm již hovoří o soustružených předmětech. Dalším dílem, které se zmiňuje o soustruhu je dílo *De Architectura* (O stavitelství) z 1. stol. př. n. l., napsané římským architektem Marcusem Vitruviusem Pollio. Patrně nejobvyklejší princip soustruhů, používaných až do středověku byl tzv. smyčcový soustruh, u něhož byl soustružený předmět, uložený mezi dvěma pevnými hroty, otáčen třetivou velkého luku, která byla kolem něho obtočena. Až od poloviny 13. stol. se teprve objevuje zdokonalená verze tohoto principu, kde nahoře je upevněna pružná tyč, od které vede lanko obtočené jedním nebo dvěma závity kolem obrobku a je připevněno na šlapadle k podlaze. V následujících stoletích se pouze modifikoval např. o pohon vodní silou (14. stol.), primitivní suport k držení a vedení soustružnického nože (15. stol.), idea šlapacího soustruhu se setrvačником apod. Podoba těchto zařízení se nám zachovala díky kresbám Leonarda da Vinciho. Z 2. poloviny 16. stol. pocházejí nákresy soustruhu na řezání závitů, soustružení podle šablon a soustruh s poháněným vřetenem, k němuž byl obrobek pevně upnut. Tyto konstrukční myšlenky zřejmě nebyly využity, ale svědčí to o tom, že potřeba přesného a výkonného obrábění narůstala s vývojem používání kovů, především technického železa. Roku 1701 je datován spis CH. Plumiera – *L'Art de tourner en perfection*, což je první podrobný popis soustruhů a práce na nich.



Obr. 1 Princip lukového soustruhu [9]

Průmyslová revoluce (od 2. pol. 18. stol.) vedla k dalšímu pokroku soustružení. Teprve v této době (roku 1800) slavný Henry Maudslay sestrojil první železný soustruh, který měl evidentně podobu budoucích soustruhů. Poprvé se zde objevila celokovová konstrukce, dlouhé rovné vodící plochy, pevně vedený suport, umožňující pohyb nože podél soustruženého předmětu i kolmo k němu a vodící šrouby pro strojní posuv. [6] Od této doby je zde jasný záměr nahrazovat lidskou práci prací strojů, kdy lidé pouze dohlíží.



Obr. 2 Soustruh na závity Henry Maudslay [7]



Autorem prvního soustruhu u nás byl počátkem 19. století Josef Božek, český mechanik a konstruktér na Stavovském polytechnickém ústavu.

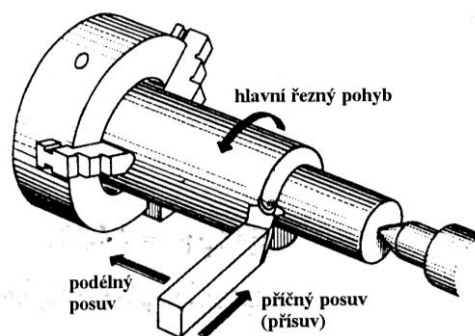
V dnešní době se hlavně uplatňují CNC (Computer Numerical Controlled) soustruhy, což jsou soustruhy doplněné o digitální odečítání pohybu souřadnic nástroje a výkonné servomotorové pohony na vedlejších osách. Je plně řízený počítačem a hodí se pro velkosériovou výrobu.



Obr. 3 CNC soustruh [8]

2 PRINCIP SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je způsob třískového obrábění vnějších nebo vnitřních rotačních ploch. Pomocí nástroje vytváříme nový povrch tak, aby vznikl požadovaný tvar a rozměr. Základem tohoto obrábění je rotační pohyb obrobku (hlavní řezný pohyb). Obvodová rychlost obrobku je řeznou rychlostí [m/min]. Nástroj koná nejčastěji přímočarý pohyb (vedlejší řezný pohyb) a to podélný nebo příčný posuv. Podélný posuv je rovnoběžný s osou rotace, stopa po noži je šroubovice, příčný posuv je kolmý na osu rotace a výslednou trajektorii je spirála. Velikost posuvů je dána dráhou nože na otáčku obrobku [mm/ot].



Obr. 4 Princip soustružení [10]

Soustružením lze obrábět vnitřní a vnější válcové plochy, zarovnávat čela, řezat závity, soustružit kuželové plochy, vrtat, vyhrubovat, vystružovat, válečkovat apod.

2.1 ZÁKLADNÍ VÝPOČTY

- Řezná rychlost:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \text{ [m/min]}$$

- Průřez třísky:

$$S = s \cdot t = a \cdot b \text{ [mm}^2\text{]}$$

- Řezné síly na noži:

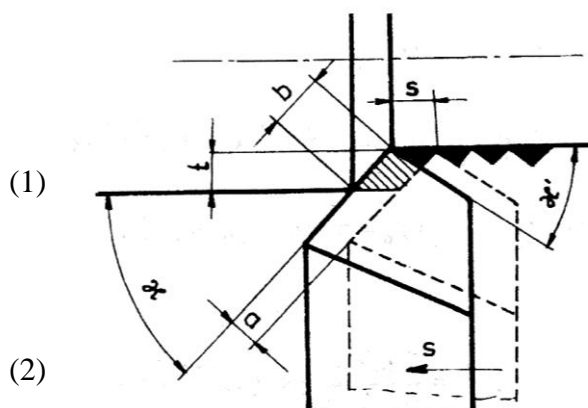
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F_z = S \cdot p \text{ [N]} \quad (4)$$

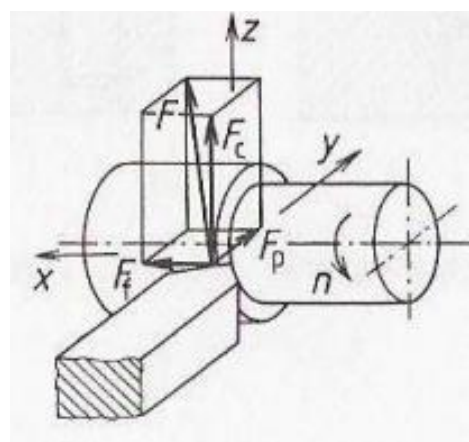
$$p = (4 - 6) \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (5)$$

- Řezný výkon:

$$P = F_z \cdot \frac{v}{60} \text{ [W]} \quad (6)$$



Obr. 5 Průřez třísky [10]



Obr. 6 Síly na noži

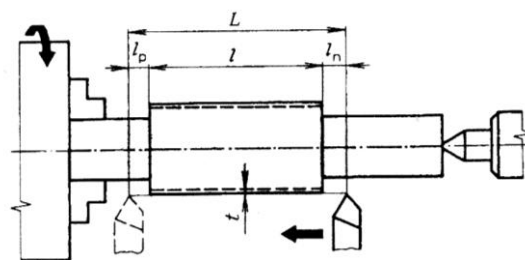


- Příkon elektromotoru:

$$P_e = \frac{P}{\eta} \text{ [W]} \quad (7)$$

- Strojní čas:

$$t_s = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \text{ [min]} \quad (8)$$



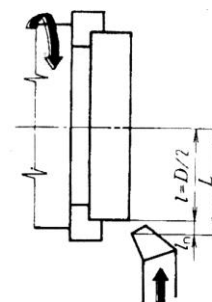
Obr. 7 Podélné soustružení [10]

Pro podélné soustružení:

$$L = l_n + l + l_p \text{ [mm]} \quad (9)$$

Pro čelní soustružení:

$$L = \frac{D}{2} + l_n \text{ [mm]} \quad (10)$$



Obr. 8 Čelní soustružení [10]

2.2 SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE

U soustružení se využívá mnoho různých druhů nástrojů. Nejpoužívanějším je soustružnický nůž. Pro běžné soustružení je geometrie břitu stanovena ČSN. Soustružnický nůž má obvykle hranolovitou upínací část a řeznou ve tvaru klínu. Materiálem řezné části může být nástrojová ocel, rychlořezná ocel nebo zde může být připájena destička ze slinutého karbidu, popř. kubický nitrid boru. V současné době se nejčastěji používá mechanicky upnutá vyměnitelná břitová destička ze slinutého karbidu.

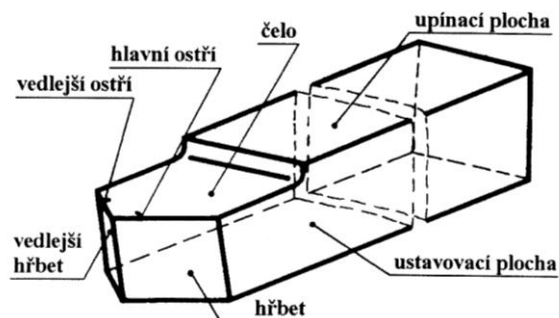
Tab. 1 Přesnost a drsnost obrobku

Způsob práce	Přesnost	Drsnost
Hrubování	IT 13	Ra 12,5
Soustružení na čisto	IT 9	Ra 3,2
Jemné soustružení	IT 6, IT 7	Ra 0,4; Ra 0,8

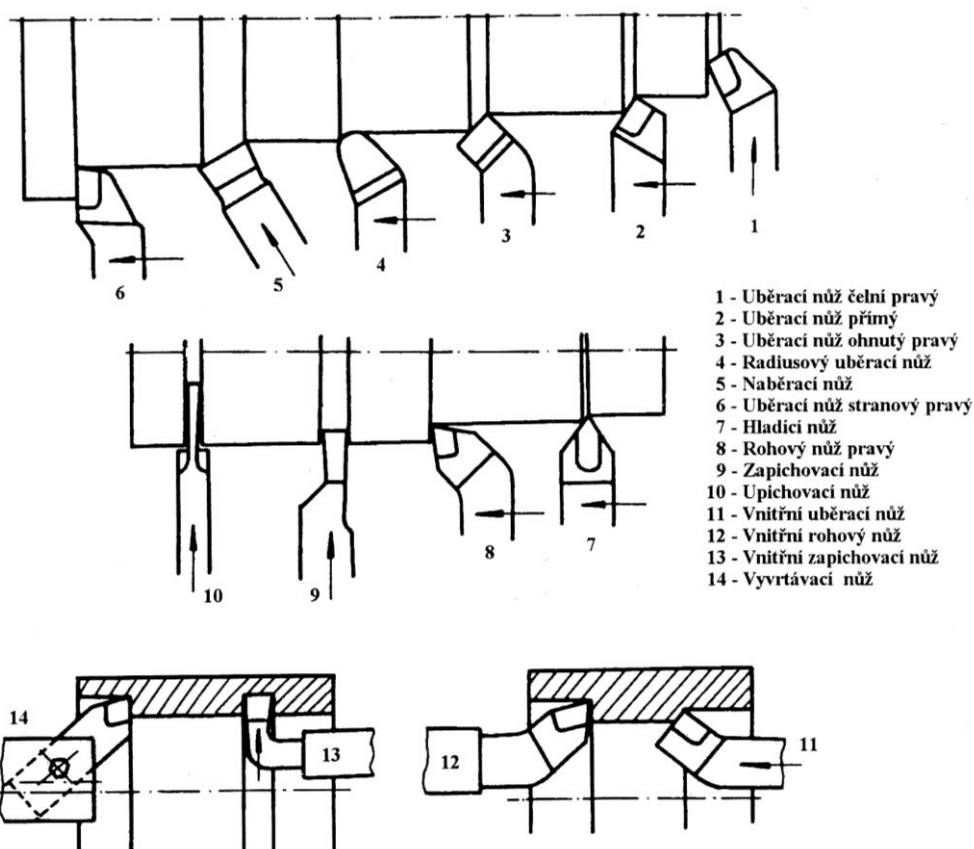


Rozdělení soustružnických nožů:

- Podle tvaru:
 - přímé
 - stranové
 - ohnuté
 - kotoučové
 - prizmatické
- Podle polohy hlavního ostří:
 - pravé
 - levé
 - souměrné
- Podle způsobu obrábění:
 - ubírací
 - upichovací a zapichovací
 - tvarové
- Podle způsobu práce:
 - hrubovací
 - dokončovací



Obr. 9 Hlavní části nože [10]



Obr. 10 Základní druhy soustružnických nožů [10]



3 ROZDĚLENÍ SOUSTRUHŮ

- Hrotové soustruhy - universální stroj, obrobky upnuté ve sklíčidle, hrotech, na trnech..
- široký rozsah otáček a posuvů
- Čelní soustruhy - pro soustružení rozměrnějších přírubových součástí malých délek
- obrobek se upíná na lícni desku, nemají koník
- Svislé soustruhy (KARUSEL) - svislá osa rotace a vodorovná upínací deska
- k obrábění rozměrných a těžkých součástí
- Revolverové soustruhy - typickou částí je revolverová hlava, kde jsou upnuty nástroje
- umožňuje provést více operací na jedno upnutí
- Poloautomatické soustruhy - zdokonalený hrotový nebo čelní soustruh
- automatický pracovní cyklus
- Automatické soustruhy - používají se ve velkosériové a hromadné výrobě
- pracovní cyklus je plně automatizován (včetně podávání a upínání)
- Číslicové řízené soustruhy - řízeny číselnými příkazy zaznamenanými na děrnou pásku nebo do vnitřní paměti řídicího systému
- CNC soustruhy vybaveny a řízeny počítačem

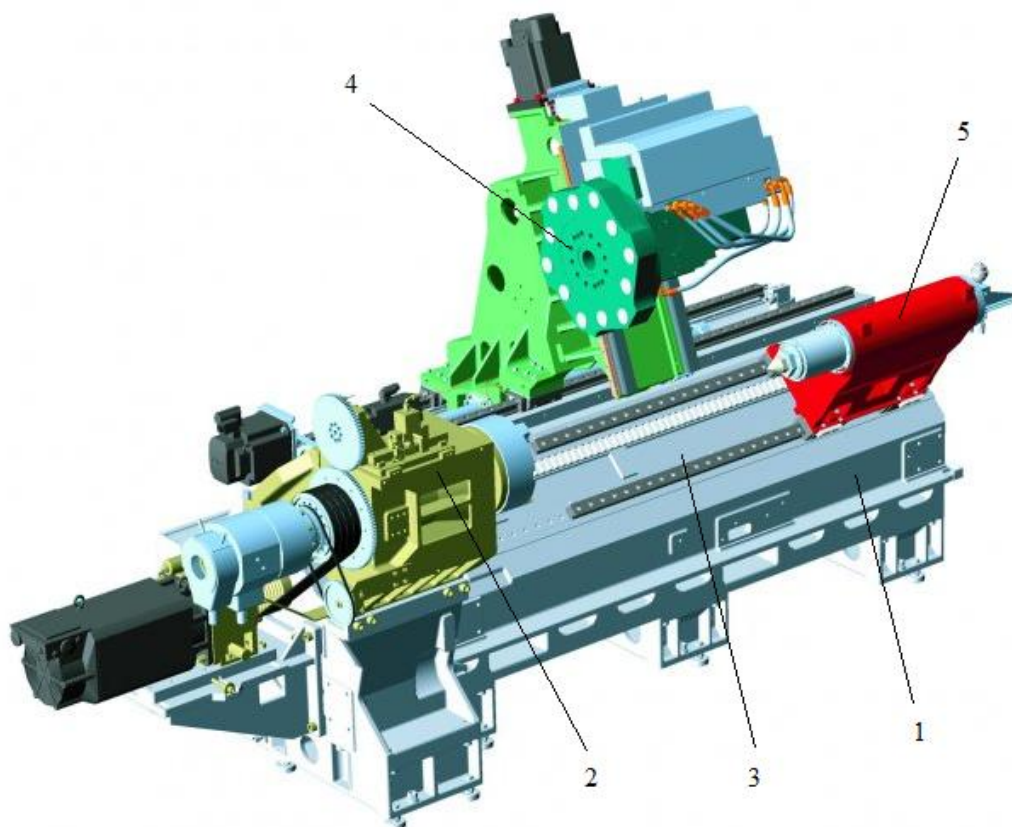


4 POLOAUTOMATICKÉ SOUSTRUŽNICKÉ STROJE

Soustružnické poloautomaty jsou velmi výkonné obráběcí stroje, určené pro opracování obrobků složitějších tvarů, které jsou upnuty mezi hroty nebo do sklíčidla. Pracují s automatickým pracovním cyklem a ručním vkládání obrobků, kdy se po ukončení pracovního cyklu stroj samočinně zastaví, pracovník vyjme hotový výrobek, upne polotvar a spustí další automatický pracovní cyklus.

4.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI

Základními částmi poloautomatických soustruhů jsou: lože, vřeteník a vřeteno, vedení, suport, koník.



Obr. 11 Základní části stroje (SP 430 firmy Kovosvit MAS) [13]:
1 – lože, 2 – vřeteník a vřeteno, 3 – vedení, 4 – nástrojová hlava, 5 – koník



4.1.1 LOŽE

Je základní nosnou částí stroje. Hlavními požadavky na lože jsou:

- vysoká tuhost v tlaku, ohybu a kroucení – tu docílíme zvolením vhodného profilu lože a vhodným upevněním na tuhý základ
- dobrý odvod třísek – aby nedocházelo k tepelné dilataci a tím ovlivnění přesnosti
- nízká hmotnost – lože je nejrozměrnější část stroje, má tedy význam na hospodárné využití materiálu na jeho výrobu, nesmí ale ovlivnit celkovou statickou tuhost a odolnost proti chvění

Lože těchto strojů bývají ve svislé rovině nebo od vodorovné roviny skloněné. Lože některých poloautomatů je tvořeno žebrovaným skříňovým odlitkem, opatřeným otvorem pro odpad a odebírání třísek.

Materiály loží

Pro konstrukci lože se používají různé materiály, nejčastěji šedá litina, ocel a polymerbeton.

Šedá litina - používáme, pokud se stroj vyrábí ve větších sériích (drahý model pro odlitek)

- lože má větší hmotnost (menší modul pružnosti než ocel), po odlití musí několik měsíců stárnout pro vyrovnání vnitřního pnutí
- lépe tlumí chvění než ocelové, jsou nepoužívanější

Ocel - svařuje se z plechů a používá se v případech, kdy se vyrábí malý počet strojů, nebo potřebujeme dosáhnout vysoké tuhosti

- menší hmotnost, menší tlumení chvění proti odlitkům

Polymerbeton - lepší dynamické vlastnosti, tepelně stabilnější, vysoká tuhost, větší hmotnost

- kompozitní materiál z vytvrditelné organické matrice a anorganického plniva
- možnost "vylít" vnitřního prostoru stávajícího ocelového nebo litinového dílu spodní stavby



4.1.2 VŘETENÍK A VŘETENO

Vřeteník je jedna z hlavních částí soustruhu, v níž je uloženo vřeteno, které uděluje obrobku přesný otáčivý pohyb. Musí být dostatečně tuhý, pevně spojený s ložem, zachycovat radiální a axiální zatížení od řezného procesu a hmotnosti obrobku. [1]

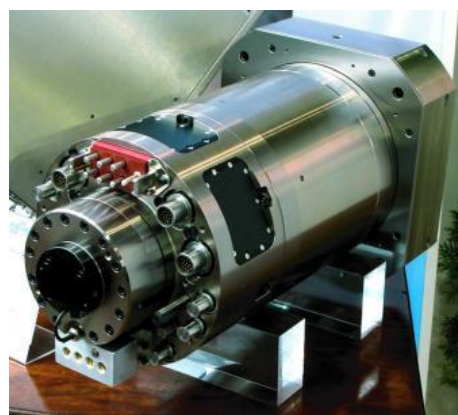


Obr. 12 Vřeteník soustruhu SF 55[8]

Vřeteno je uloženo v ložiscích tak, aby přenášelo radiální a axiální síly. Přední konec vřetena je upraven (normalizován) pro nasazení sklíčidla, upínací desky a hrotu ke středění obrobku.

Požadavky:

- přesnost chodu
- dokonalé vedení
- co nejmenší ztráty
- dostatečná tuhost.



Obr. 13 Vřeteno firmy Fischer [11]

4.1.3 VEDEDNÍ

Je to soustava ploch, na níž se stýká pohyblivá část (suport) a nehyblivá část (lože).

Kluzné vedení bez obložení

Kluzné dvojice zde tvoří klasické materiály, používané ve stavbě soustruhů (ocel, litina, apod.). Hlavní vlastnosti: velké pasivní odpory, u uzavřených vedení se vyskytuje vůle, dobrá tuhost, schopnost tlumit chvění, malá životnost, jednoduchá konstrukce.



Kluzné vedení s obložením

Hlavním nedostatkem kluzných vedení bez obložení je velký součinitel tření a vznik trhavých pohybů. Pomocí vhodného obložení jedné části vedení (nejčastěji pohyblivé části) se tyto nedostatky z větší části odstraní. Součinitel tření klesne až o 50%, trhavé pohyby jsou většinou odstraněny a zadírací tlaky se několikanásobně zvýší.

Rozdělení materiálů podle stavu při obkládání:

- připevňované v tuhém stavu lepením nebo mechanicky
 - fólie, desky nebo pásy
- nanášené v kašovitém stavu stěrkou
 - vytvořené na bázi epoxidových pryskyřic s přídavkem vhodných plnidel
- nanášené v tekutém stavu litím
 - od materiálu v kašovitém stavu se liší pouze viskozitou před vytvrzením

Hydrostatické vedení

V tomto případě je celé zatížení neseno tlakem oleje. Z toho vyplývá, že zde nedochází k mechanickému dotyku, ale pouze ke kapalinnému tření. Výhody tohoto typu vedení jsou hlavně nízké pasivní odpory, vysoká tuhost, tlumící schopnost, vysoká přesnost chodu, dlouhá životnost, klidný chod. Nevýhodou je složitá konstrukce, filtrace oleje, nákladný provoz a údržba.



Obr. 14 Hydrostatické vedení [11]



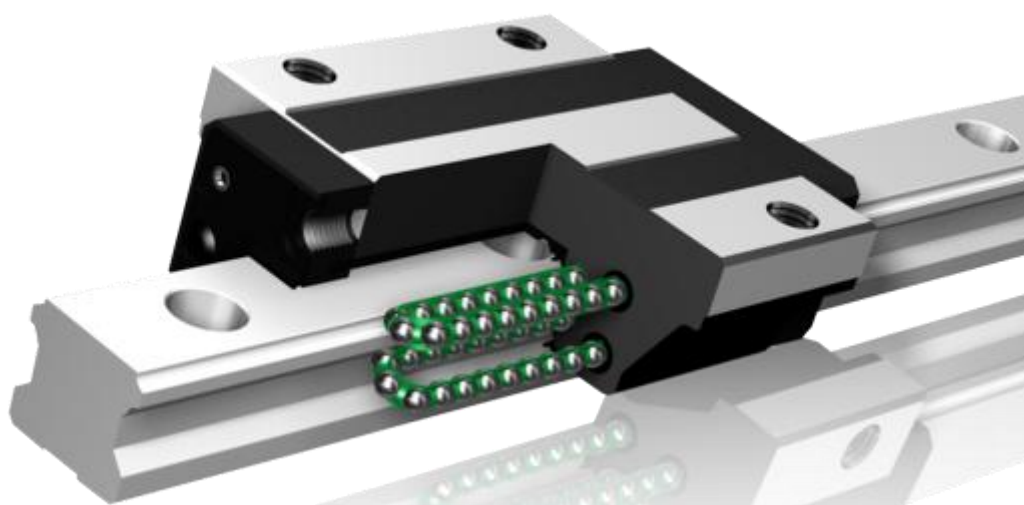
Valivé vedení

Mezi vodícími plochami působí pouze valivé tření.

Výhody valivého vedení proti klzným jsou:

- menší součinitel tření a malý rozdíl mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu (odstranění trhavých pohybů)
- minimální opotřebení a dlouhá životnost
- ve vedení není vůle, vysoká tuhost, vysoká přesnost pohybu, snadná údržba

Nevýhodou je náročná výroba (přesnost), větší rozměry než klzné vedení, menší schopnost tlumit chvění.



Obr. 15 Valivé vedení firmy HENNLICH [12]

4.1.4 SUPORT

Suport soustruhu je spojovacím článkem mezi nástrojem a ložem. Zachycuje a přenáší síly vznikající při obrábění. Je tvořen z několika částí vzájemně po sobě pohyblivých. Při jejich konstrukci je nutno uvažovat nejen o jejich parametrech tuhosti v ohybu, kroucení a tlaku, ale především o stykové tuhosti spojení jednotlivých částí, které jsou převážně suvné. Je nutno počítat s vlivy vůlí v jednotlivých vedeních, které budou ovlivňovat celkovou deformaci suportu měřenou na nástroji a tím i přesnost. [1] Vodící dráhy suportů jsou kalené a broušené.



4.1.5 KONÍK

Koník slouží především k upínání obrobku mezi hroty. Jeho částí je těleso, pinola, upínací hrot, mechanismus k posuvu po loži a k výsunu pinoly z tělesa. Těleso koníku je uloženo ve zvláštním vedení lože. Po loži se přestavuje pomocí podélného suportu. Vysouvání pinoly koníku je většinou hydraulické. Přítlačná síla je seřiditelná v širokém rozsahu podle tuhosti upínané součásti.

4.2 HLAVNÍ POHON

Je konstruován tak, aby umožňoval řazení několika otáčkových stupňů v cyklu. Řazení určitého počtu otáček za chodu stroje se provádí většinou třecími spojkami, víceotáčkovým asynchronním elektromotorem, případně jejich kombinací. Nastavení jednotlivých otáčkových řad se provádí při seřizování stroje pomocí přesuvných kol. [2]

4.3 POHON SUPORTŮ

Podélný posuv suportů je ovládán hydraulickým válcem a pístem nebo šroubem a maticí. Posuvový šroub je poháněn hydromotorem s regulací otáček nebo od vřetene přes mechanickou posuvovou skříň.

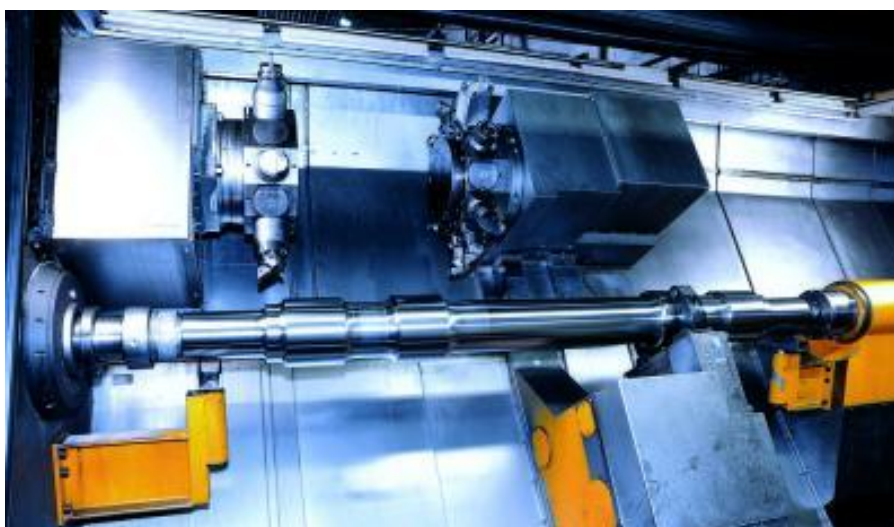
Příčný pohyb kopírovacího suportu je řízen hydraulicky kopírovacím šoupátkem, které je udržováno v příslušné poloze najetím na zarážku nebo na kopírovací šablonu. Narážkový bubínek umožňuje odebrání přídavku na obrábění na několik třísek v automatickém opakovaném pracovním cyklu. Poslední tříska se odebírá vždy podle šablony. [2]



5 DRUHY POLOAUTOMATICKÝCH SOUSTRUHŮ

5.1 NĚKOLIKANOŽOVÉ POLOAUTOMATY PRO PRÁCI V HROTECH A VE SKLÍČIDLE

Používáme je u dílců tvaru hřídele, kde poměr délky a průměrů dovoluje současný záběr několika nožů a k obrábění dílců přírubového tvaru, ozubeného kola apod. Ve výrobě hřídelů se několikanožové poloautomaty používají tehdy, pokud složitost tvaru hřídele nedovoluje výhodně použít kopírovacího způsobu obrábění, které je rychlejší a hospodárnější. Několikanožové poloautomaty mají obvykle dva suporty, které nezávisle na sobě pracují příčnými a podélnými posuvy. Zpravidla jeden soustruží podélně a druhý příčně.



Obr.16 Pracovní prostor SPH 50 [14]

Upnutí mezi hroty se používá pro upínání součástí s poměrem délky k průměru větším než tři a tam, kde se požaduje přesná sousost mezi osou rotace a povrchem. Před upnutím se obrobek zarovná na délku a do čel se navrtají středící důlky. Krouticí moment se přenáší unášecím srdcem.

Skličidlo je nejčastěji používané universální upínací zařízení. Pohon čelistí může být ruční, hydraulický, pneumatický nebo elektromotorem. Nejčastěji jsou tříčelistové ale mohou být i vícečelistové.



Obr. 17 Skličidlové upínání (poloautomat SPR 63) [14]



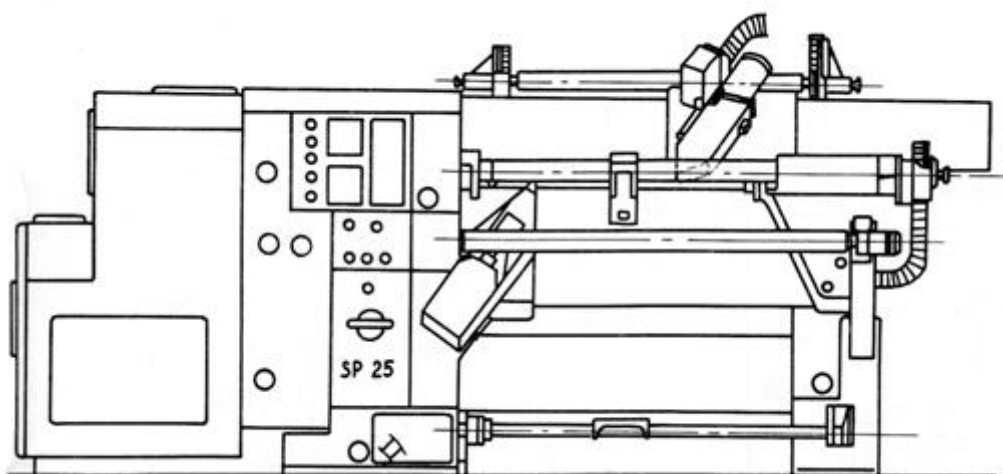
5.2 KOPÍROVACÍ SOUSTRUŽNICKÉ POLOAUTOMATY

Na soustružení hlavního tvaru obrobku kopírovacím způsobem stačí jeden nebo dva nože, upnuté na kopírovacím suportu. Ostatní nože, např. na soustružení čela a zapichování, se upínají na další suport. Nízký počet nožů zjednodušuje seřizování stroje. U tohoto způsobu soustružení lze využívat vyšších řezných rychlostí a posuvů.

Hlavními znaky kopírovacích poloautomatů jsou:

- automatická změna otáček vřetena a posuvů za chodu stroje
- možnost volby nejúčelnějšího pracovního postupu podle tvaru obrobku
- možnost rozdělení většího přídavku na obrábění na několik třísek, každá se může odebírat za jiných pracovních podmínek
- programový štítek umožňuje snadné opakování seřízení stroje
- automatizace dovoluje obsluhovat několik strojů jedním pracovníkem

Na kopírovacím poloautomatu jsou poměrně menší kroutící momenty (menší počet nástrojů) a to příznivě ovlivňuje upínání obrobků.



Obr. 18 Kopírovací poloautomat s programovým řízením SP 25 [2]

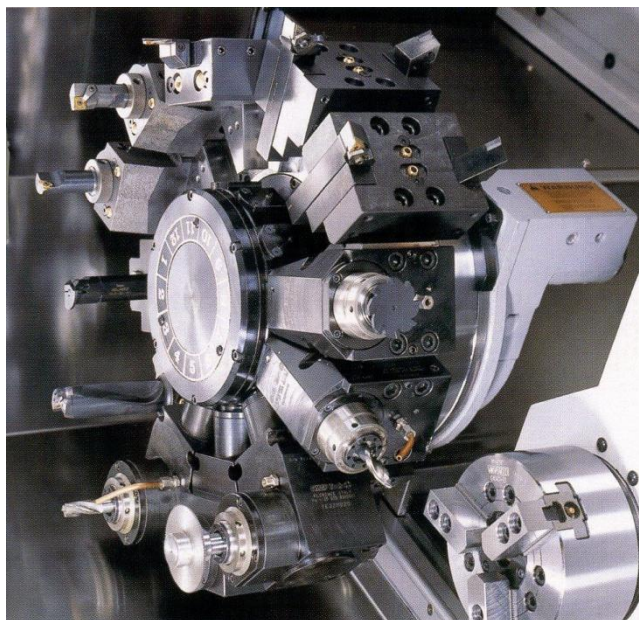


5.3 REVOLVEROVÉ SOUSTRUŽNICKÉ POLOAUTOMATY

Sklíčidlové revolverové poloautomaty vznikly z revolverových soustruhů zautomatizováním jejich pracovního cyklu. Mají většinou dva nebo tři příčné suporty a revolverovou hlavu se svislou nebo vodorovnou osou otáčení. Výhodou vodorovné revolverové hlavy je možnost soustružit i příčně, bez použití zvláštního suportu. Další výhodou je možnost použití podélného i příčného kopírování podle šablony a soustružení kuželů. Výhodou svislé revolverové hlavy je možnost využití nástrojů ve všech polohách i při největších průměrech obrobku. Mimo to jsou univerzálnější a dají se využít pro velmi malý počet stejných součástí.

Revolverové soustružnické poloautomaty pracují s větším počtem nástrojů, a proto jsou vhodné k obrábění součástí složitějších tvarů.

U novějších strojů jsou v otočné revolverové hlavě i poháněné nástroje, které umožňují frézovací a vrtací operace nástroji malého průměru.



Obr. 19 Revolverová hlava 10-ti polohová [15]



6 POLOAUTOMATICKÉ SOUSTRUŽNICKÉ STROJE SOUČASNÉ PRODUKCE

6.1 SOUSTRUŽNICKÉ CENTRUM SKY 40 CNC

Soustružnický revolverový poloautomat SKY 40 CNC je určen pro kusovou, malosériovou, případně sériovou výrobu součástí soustružnického charakteru z tyčového materiálu v rozsahu průměrů 6 až 40 mm. Největší délka tyče je 3000 mm. Při použití podpěrného koníku s hydraulickým ovládáním mohou být na stroji obráběny součásti do délky 300 mm. Vřeteno je poháněno stejnosměrným regulačním motorem, který umožňuje plynulou regulaci v rozsahu 40-4500 ot/min a obrábění konstantní rychlostí. Stroj je vybaven 12-ti polohovou revolverovou nástrojovou hlavou. Na přání lze stroj vybavit pohonem rotačních nástrojů a vřeteníkem s polohováním po 1°.[14]



Obr. 20 Soustružnické centrum SKY 40 CNC [14]

Tab 2. Vybavení a hlavní technické parametry stroje SKY 40 CNC

Vybavení	
Řídicí systém	Siemens 810 D
Pohony vřetena a posuvů	Digital Siemens
Měniče vřetena a posuvů	Siemens Simodrive 611 Digital
Nástrojová hlava	Duplomatic elektrická s nástrojovým diskem (popř. i s rotačními nástroji)
Upínání	Skličidlo, kleštiny

Hlavní technické parametry	
Vrtání břemene	50 mm
Max. průměr obrábění	110 mm
Max. průměr sklíčidla	110 mm
Max. průměr tyčového materiálu	42 mm
Max. délka při použití podpěrného koníka	300 mm
Rozsah plynule řazených otáček vřetena	40 – 4500 ot/min
Max. zdvih podélného suportu	400 mm
Max. zdvih příčného suportu	80 mm
Výkon hlavního elektromotoru	10 kW
Plocha stroje (délka x šířka x výška)	1950 x 1580 x 1850 mm
Hmotnost stroje	2400 kg



6.2 SOUSTRUŽNICKÝ POLOAUTOMAT SPR 63 CNC-B

Původní převodovka vřeteníku je nahrazena přímým náhonem vřetene s plynulou regulací otáček. Soustruh je určen pro výrobu tvarově složitých součástí přírubového i hřídelového charakteru v opakované malosériové a kusové výrobě. Je vybaven řídicím systémem Siemens 810D, který umožňuje soustružení válcových, kuželových i kulových tvarů na povrchu i uvnitř obrobku a také řezání závitů válcových i kuželových. Obrobky se upínají do hydraulicky ovládaného průchozího sklíčidla, jehož upínací tlak lze seřadit podle tuhosti obrobku. [16]



Obr.21 Soustružnický poloautomat SPR 63 CNC-B [14]

Tab. 3 Vybavení a hlavní technické parametry stroje SPR 63 CNC-B

Vybavení	
Řídicí systém	Siemens 810 D
Pohony vřetena a posuvů	Digital Siemens
Měniče vřetena a posuvů	Siemens
Nástrojová hlava	Duplomatic elektrická 12ti polohová
Upínání	Sklíčidlo, kleštiny

Hlavní technické parametry	
Vrtání břemene	75 mm
Max. průchod tyče vřetenem	63 mm
Max. oběžný průměr nad podélným suportem	470 mm
Max. oběžný průměr nad příčným suportem	270 mm
Točná délka	250 mm
Rozsah plynule řazených otáček vřetene	20 – 4000 ot/min
Max. pojezd suportu podélně	740 mm
Max. pojezd suportu příčně	325 mm
Rychloposuv	25 m/min
Průměr sklíčidla	250 mm
Počet nástrojů v revolverových hlavách	12
Výkon hlavního elektromotoru	18,5 kW
Půdorysná plocha stroje (délka x šířka)	3000 x 2800 mm
Výška stroje	2650 mm
Hmotnost stroje	6000 kg



6.3 SOUSTRUŽNICKÝ POLOAUTOMAT SRU 40 CNC

Číslicově řízený revolverový soustruh SRU 40 CNC je určen pro obrábění přírubových částí, kratších hřídelů a součástí z tyčového materiálu. V normálním provedení je vyráběn v 7 základních variantách. Jednotlivé varianty umožňují použít různé technologické operace, jako například soustružení vnějších, vnitřních a čelních ploch válcových, kuželových i kulových, vrtání i vystružování otvorů, řezání závitů, mimostřední vrtání i frézování, jak v ose soustružení, tak i kolmo na ni, obrobení druhé strany obrobku apod. [14]



Obr.22 Soustružnický poloautomat SRU 40 CNC [14]

Tab. 4 Vybavení a hlavní technické parametry stroje SRU 40 CNC

Vybavení	
Řídicí systém	Siemens 810T GA.3
Pohony vřetena a posuvů	Analog Siemens
Měniče vřetena a posuvů	Siemens Simodrive 611 analog
Nástrojová hlava	Hydraulická 12ti polohová
Upínání	Sklíčidlo, kleštiny

Hlavní technické parametry	
Max. průměr soustružení přírubové součásti	125 mm
Max. průměr soustružení hřídelové součásti	125 mm
Max. průměr tyčového materiálu	40 mm
Max délka obrábění	300 mm
Rozsah otáček vřetene	50 – 5000 ot/min
Max. zdvih podélného suportu	400 mm
Max. zdvih příčného suportu	185 mm
Počet poloh pro nástrojové hlavy pro rotační pohyb	6
Počet nástrojů v hlavě	12
Výkon hlavního elektromotoru	11,2 kW
Provozní příkon stroje	17,8 kW
Půdorysná plocha stroje (délka x šířka)	2315 x 3150 mm
Hmotnost stroje	3970 kg



6.4 SOUSTRUŽNICKÝ POLOAUTOMAT SP 430

Mezi základní vlastnosti SP430 patří vysoká tuhost a vysoký krouticí moment na vřetenu, zaručující vykonané soustružení na maximálním průměru. Dynamika a vysoké rychlosti v jednotlivých osách zkracují vedlejší časy a zajišťují tak efektivnější využití stroje. Použití valivého vedení dlouhodobě zajišťuje obrábění s vysokou přesností. Konstrukce stroje umožňuje rychlý odvod třísek. Stroj je vybaven integrovanou bezpečností v řídicím systému. [13]



Obr. 23 Soustružnický poloautomat SP 430[13]

Tab. 5 Vybavení a hlavní technické parametry stroje SP 430

Vybavení	
Řídicí systém	Siemens – Sinumerik 840Dsl (solution line)
Pohony vřetena a posuvů	Sinamics a Heidenhain

Hlavní technické parametry (varianta pouze s horní nástrojovou hlavou)	
Oběžný průměr nad ložem	680 mm
Max. průměr soustružení	430 mm
Max. délka soustružení	1100 mm
Rychloposuv	30 m/min
Max. otáčky vřetena	3800
Počet poloh nástrojové hlavy	12
Půdorysná plocha stroje (délka x šířka)	5000 x 2200 mm
Výška stroje	2200 mm
Hmotnost stroje	8300 kg



7 VÝROBCI SOUSTRUŽNICKÝCH STROJŮ

7.1 KOVOSVIT MAS



Kovosvit MAS je tradiční a největší výrobce moderních obráběcích center a CNC soustruhů s velmi silným vývojovým a technickým zázemím.

Výrobní program: obráběcí centra (vertikální, horizontální, pětiosé), CNC soustruhy a vysoce produktivní soustružnická centra, multifunkční soustružnicko-frézovací centra, kooperační výroba a dodávky odlitků ze šedé litiny. [13]

7.2 TAJMAC-ZPS



Společnost TAJMAC-ZPS je komplexní firma zabývající se vývojem a výrobou obráběcích strojů. Zaujímá v ČR čelní postavení v oblasti obráběcích center a vícevřetenových automatů. Její ochranná známka je registrována ve 47 zemích.

Výrobní program se skládá z vysoce výkonných obráběcích center a ze světového hlediska špičkových vícevřetenových automatů. [17]

7.3 TOS



TOS, a.s. navazuje na tradici výroby obráběcích strojů, zahájenou téměř před 152 lety. Úspěšně rozvíjenou firmami TOS Hostivař, CETOS a TOS Čelákovice. Pod ochrannou známkou TOS pokračuje vývoj a výroba obráběcích strojů, které úspěšně dodává do celého světa.

Produkty společnosti jsou brusky (hrotové, bezhroté, brusky na klikové hřídele), soustruhy (numerické, klasické, na obrábění veškerých tvarových ploch) a ozubárenské stroje (odvalovací frézky a obrážky). [18]

7.4 MORI SEIKI



Již od svého založení roku 1948, byla japonská společnost MORI SEIKI uznávána jako inovátor v oboru obráběcích a tvářecích strojů. Tato společnost již dodala více než 180 tisíc strojů po celém světě.

Zabývá se výrobou vertikálních a horizontálních obráběcích center, CNC soustruhů a řídicích systémů. [19]



8 VÝPOČET OPTIMÁLNÍ VZDÁLENOSTI MEZI LOŽISKY

Na výpočtu optimální vzdálenosti mezi ložisky závisí deformace vřetena, která má značný vliv na přesnost práce a na vznik samobuzeného kmitání při obrábění, což je nežádoucí. Tuhost vřetena se obvykle uvádí na jeho předním konci, na který se upevňuje upínací zařízení s obrobkem. V tomto místě má přímý vliv na kvalitu obrábění.

Při mém výpočtu budu uvažovat speciální vysokorychlostní ložiska pro vřetena od firmy UKF [21]:

- přední ložisko 70 UHC 60 A25
- zadní ložisko 719 UHS 50 A25

Znamé hodnoty:

Hloubka třísky:	$t = 1,5 \text{ mm}$
Posuv:	$s = 0,25 \text{ mm/ot}$
Mez pevnosti v tahu:	$R_m = 700 \text{ MPa}$
Modul pružnosti v tahu:	$E = 2,1 \times 10^{11} \text{ Pa}$
Vnitřní průměr vřetena:	$d_1 = 25 \text{ mm}$
Vnější průměr vřetena:	$D_1 = 50 \text{ mm}$
Vnitřní průměr vřetena:	$d_2 = 30 \text{ mm}$
Vnější průměr vřetena:	$D_2 = 60 \text{ mm}$
Délka volného konce:	$a = 45 \text{ mm}$
Radiální tuhost ložiska A:	$R_{RA} = 260 \text{ N/}\mu\text{m}$
Radiální tuhost ložiska B:	$R_{RB} = 399 \text{ N/}\mu\text{m}$

Průřez třísky dle vzorce (2):

$$S = 1,5 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ mm}^2$$

Řezný odpor dle vzorce (5):

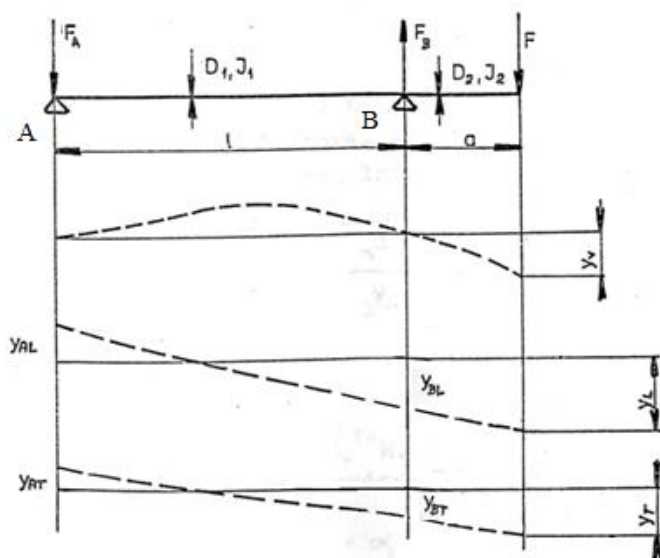
$$p = 5 \cdot 700 = 3500 \text{ Mpa}$$

Řezná síla dle vzorce (4):

$$F_z = 0,375 \cdot 3500 = 1312,5 \text{ N}$$



8.1 VÝPOČET PRŮHYBU VLASTNÍHO VŘETENA



F – zatížení konce vřetena

y_v – průhyb vlivem poddajnosti vřetena

y_L – průhyb vlivem poddajnosti ložisek

y_T – průhyb vlivem poddajnosti skříně

Obr. 24 Schéma vřetene pro výpočet deformací

Vřeteno je nosník na dvou podporách s převislým koncem zatíženým silou F . Dílčí deformace vřetena y_v můžeme definovat za předpokladu dokonale tuhých ložisek [1]:

$$y_v = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \cdot \left(\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right) \quad F = F_z \quad (10)$$

Kvadratické momenty ploch průřezů:

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (D_1^4 - d_1^4) \quad (11)$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \cdot (D_2^4 - d_2^4) \quad (12)$$



8.2 VÝPOČET PRŮHYBU VLIVEM DEFORMACE LOŽISEK

Ke stanovení průhybu vlivem deformace ložisek y_L je zapotřebí znát jejich tuhost nebo poddajnost p_A a p_B . [4]

$$p_A = \frac{1}{R_{RA}} \quad (13)$$

$$p_B = \frac{1}{R_{RB}} \quad (14)$$

Deformace ložisek y_{AL} a y_{BL} :

$$y_{AL} = F_A \cdot p_A = \frac{F \cdot a}{l} \cdot p_A \quad (15)$$

$$y_{BL} = F_B \cdot p_B = \frac{F \cdot (a+l)}{l} \cdot p_B \quad (16)$$

Výsledná deformace y_L :

$$y_L = y_{AL} \cdot \frac{a}{l} + y_{BL} \cdot \frac{a+l}{l} = \frac{F}{l^2} [a^2 \cdot p_A + (a+l)^2 \cdot p_B] \quad (17)$$

8.3 CELKOVÝ PRŮHYB VŘETENA

Výsledná deformace na konci vřetena se vypočítá součtem jednotlivých deformací:

$$y = y_V + y_L + y_T \quad (18)$$

Průhyb vlivem poddajnosti skříně y_T je vždy odvozen pro konkrétní případ, výpočet je poměrně složitý a k získání jeho výsledku se používá výpočetní techniky. Z těchto důvodů tento průhyb ve výpočtu zanedbávám.

Výsledná deformace se tedy rovná [4]:

$$y = y_V + y_L = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \left(\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right) + \frac{F}{l^2} [a^2 \cdot p_A + (a+l)^2 \cdot p_B] \quad (19)$$



8.4 OPTIMÁLNÍ VZDÁLENOST MEZI LOŽISKY

Pro každé vřeteno a jeho uložení existuje optimální vzdálenost ložisek l_0 , při které bude nejmenší deformace na konci vřetene. Tuto vzdálenost zjistíme derivací y podle l a položíme rovnou 0 (výpočet dle literatury [4]):

$$\frac{dy}{dl} = 0 \Rightarrow -\frac{2a^2}{l^3} \cdot (p_A + p_B) - \frac{2a}{l^2} p_B + \frac{a^2}{3 \cdot E \cdot J_1} \quad (20)$$

Úpravou dostaneme kubickou rovnici:

$$l^3 - \frac{6 \cdot E \cdot J_1 \cdot l}{a} p_A - 6 \cdot E \cdot J_1 \cdot (p_A + p_B) = 0 \quad (21)$$

Tato rovnice odpovídá tvaru:

$$x^3 + qx + r = 0 \quad (22)$$

kde

$$q = -\frac{6 \cdot E \cdot J_1}{a} \cdot p_B \quad (23)$$

$$r = -6 \cdot E \cdot J_1 \cdot (p_A + p_B) \quad (24)$$

Tato rovnice má 3 kořeny, z toho pouze jeden je reálný:

$$x_1 = U + V \quad (25)$$

kde

$$U = \sqrt[3]{-\frac{1}{2} \cdot r + \sqrt{z}} \quad (26)$$

$$V = \sqrt[3]{-\frac{1}{2} \cdot r - \sqrt{z}} \quad (27)$$

$$z = \frac{1}{4} \cdot r^2 + \frac{1}{27} q^3 \quad (28)$$

Číselné dosazení do rovnic:

Kvadratické momenty vzorec (11) a (12):

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (0,05^4 - 0,025^4) = 2,876 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \cdot (0,06^4 - 0,03^4) = 5,964 \cdot 10^{-7} m^4$$

Poddajnost ložisek (13) a (14):

$$p_A = \frac{1}{260} = 3,846 \cdot 10^{-9} mN^{-1}$$

$$p_B = \frac{1}{399} = 2,506 \cdot 10^{-9} mN^{-1}$$



Výsledná optimální vzdálenost po dosazení do vzorce (25):

$$x_1 = U + V = 0,129 + 0,052 = 0,181m$$

Výsledná celková deformace dle vzorce (19):

$$y = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \left(\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right) + \frac{F}{l^2} \cdot [a^2 \cdot p_A + (a+l)^2 \cdot p_B] = \frac{1312,5 \cdot 0,045^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} \left(\frac{0,045}{2,876 \cdot 10^{-7}} + \frac{0,181}{5,964 \cdot 10^{-7}} \right) + \frac{1312,5}{0,181^2} \cdot [0,045^2 \cdot 3,846 \cdot 10^{-9} + (0,045 + 0,181)^2 \cdot 2,506 \cdot 10^{-9}] = 7,384 \cdot 10^{-6} m$$



ZÁVĚR

Soustružení patří v dnešní době mezi nejčastěji používané metody třískového obrábění rotačních ploch. Jasným vývojovým trendem v soustružení je zpřesnění výroby a zkrácení pracovních časů. Z těchto důvodů jsou starší universální soustruhy v mnoha podnicích nahrazovány soustruhy novými, číslicově řízenými. Je to také dáno stále složitějšími tvary vyráběných součástí. Tyto číslicově řízené soustruhy mají již zautomatizovaný pracovní cyklus, což má za následek úsporu času a možnost obsluhy více strojů jedním pracovníkem. Stroje, jejichž pracovní cyklus je automatický (obsluha pouze vkládá a upíná polotovary, spouští pracovní cyklus a odebírá obrobek), se nazývají soustružnické poloautomatické stroje nebo též soustružnické poloautomaty. Těmito stroji jsem se zabýval v mé bakalářské práci. Provedl jsem popis hlavních částí, představil hlavní druhy soustružnických poloautomatů a jejich zástupce v současné produkci. Soustružnické poloautomatické stroje se používají především ve středně velkých firmách v malosériové výrobě. Dle mého názoru tyto poloautomaty postupem času nahradí plně automatické stroje, jejichž pracovní cyklus je plně automatizován včetně podávání a upnutí obrobku.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BORSKÝ, V. *Obráběcí stroje*, 1 vydání, VUT Brno, 1992. 216 s.
ISBN 80-214-0470-1.
- [2] KRATOCHVÍL, J. *Obráběcí stroje*. 1 vydání, ČVUT Praha, 1993. 205 s.
- [3] HOUŠA, J. *Stavba výrobních strojů II*, ČVUT Praha, 1990. 301 s.
- [4] BORSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*, VUT Brno, 1991. 214 s.
ISBN 80-214-0361-6
- [5] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Výrobní technologie II*, VUT Brno, 2002. 83 s.
ISBN 80-214-2189-4
- [6] TOS VANS DORF, *Vzpomínky - historie obrábění* (online). [cit. 2011-02-08].
Dostupný z WWW:
<http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky>
- [7] On ye art and mysterie of turning, (online). [cit. 2011-02-08]. Dostupný z WWW:
<http://homepages.ihug.com.au/~dispater/turning.htm>
- [8] FERMAT (online). [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW:
<http://www.fermatmachinery.com/cs/11-cnc-soustruhy>
- [9] Historic lathes (online). [cit. 2011-02-11] Dostupný z WWW:
<http://www.historicgames.com/lathes/ancientlathes.html>
- [10] NEDBAL, R. *Strojírenská technologie*, Skripta SPŠ Zlín, 2006. 104 s.
- [11] MM Průmyslové spektrum (online). [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW:
<http://www.mmspektrum.com>
- [12] Hennlich Industrietechnik (online). [cit. 2011-03-02] Dostupný z WWW:
<http://www.hennlich.cz>
- [13] Kovošvit MAS (online). [cit. 2011-02-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.kovosvit.cz>
- [14] MIVA Zlín (online). [cit. 2011-03-19] Dostupný z WWW:
<http://www.mivazlin.cz/>



- [15] FILAK Machinery (online). [cit. 2011-03-19] Dostupný z WWW:
<http://www.filak.cz>
- [16] S.O.S. Difák (online). [cit. 2011-04-06] Dostupný z WWW:
<http://www.difak.cz/>
- [17] TAJMAC-ZPS (online). [cit. 2011-04-13]. Dostupný z WWW:
<http://www.tajmac-zps.cz/>
- [18] TOS a.s. (online). [cit. 2011-04-13]. Dostupný z WWW:
<http://www.tosas.cz/>
- [19] MORI SEIKI (online). [cit. 2011-04-13] Dostupný z WWW:
<http://www.moriseiki.com>
- [20] Universal-Kugellager Fabrik (online). [cit. 2011-05-02] Dostupný z WWW:
<http://www.ukf.de/index.html>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[m]	délka volného konce vřetene
D	[mm]	obráběný průměr
d_1	[m]	vnitřní průměr vřetena v průřezu 1
D_1	[m]	vnější průměr vřetena v průřezu 1
d_2	[m]	vnitřní průměr vřetena v průřezu 2
D_2	[m]	vnější průměr vřetena v průřezu 2
E	[Pa]	modul pružnosti
F	[N]	zatížení konce vřetena
F_A	[N]	reakce na ložisko A
F_B	[N]	reakce na ložisko B
F_x, F_y	[N]	síly v osách
F_z	[N]	řezná síla
i	[-]	počet třísek
J_1	[m ⁴]	kvadratický moment průřezu 1
J_2	[m ⁴]	kvadratický moment průřezu 2
L	[mm]	dráha nástroje
l	[m]	vzdálenost mezi ložisky
l_n	[mm]	náběh nástroje
l_p	[mm]	přeběh nástroje
n	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
p	[MPa]	řezný odpor



P	[W]	řezný výkon
p_A	[m.N ⁻¹]	poddajnost ložiska A
p_B	[m.N ⁻¹]	poddajnost ložiska B
P_e	[W]	příkon elektromotoru
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{RA}	[N.m ⁻¹]	radiální tuhost ložiska A
R_{RB}	[N.m ⁻¹]	radiální tuhost ložiska B
S	[mm ²]	průřez třísky
s	[mm]	posuv
t	[mm]	hloubka třísky
t_s	[min]	strojní čas
v	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
y_{AL}	[m]	deformace ložiska A
y_{BL}	[m]	deformace ložiska B
y_L	[m]	průhyb vlivem poddajnosti ložisek
y_T	[m]	průhyb vlivem poddajnosti skříně
y_V	[m]	průhyb vlivem poddajnosti vřetena
η	[-]	účinnost